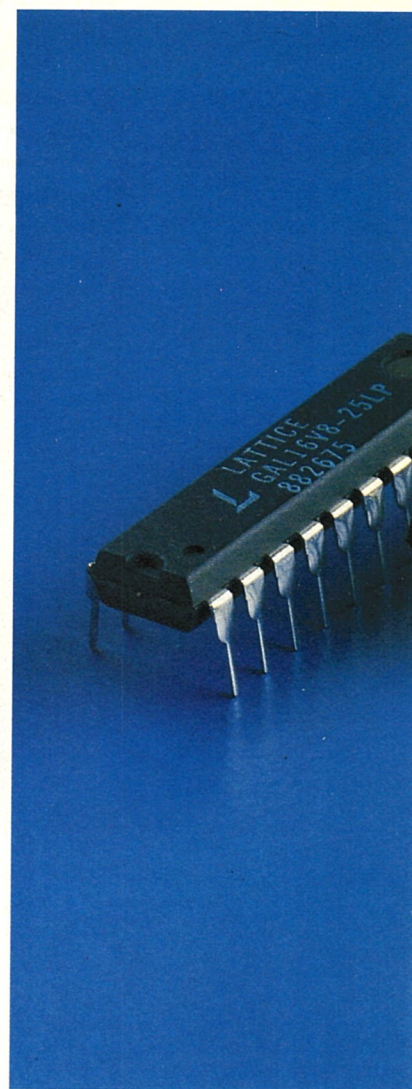


GRAUE EMINENZEN



GAL und PAL

PAL- und GAL-Schaltkreise spielen heute beim digitalen Schaltungsentwurf eine Schlüsselrolle. Wer einen PC besitzt, kann mit Hilfe dieser Chips ohne große Investitionen auch komplexe Schaltungen entwerfen.

Die programmierbaren Logik-Schaltkreise wie PAL und GAL sind aus dem modernen Schaltungsentwurf nicht mehr wegzudenken. PAL ist eine Abkürzung von „Programmable Array Logic“, und GAL bedeutet „Generic Array Logic“. Der Sinn und Zweck beider Schaltkreis-Familien besteht darin, digitale Schaltungen mit möglichst wenig Bauteilen in kürzester Zeit zu realisieren. Obwohl programmierbare Logik-Schaltkreise bei weitem nicht die Integrationsdichte von Semi-Custom- und Full-Custom-Schaltkreisen (CHIP 1/88, Seite 48) aufweisen, so sind sie doch wesentlich flexibler und vor allem viel preiswerter.

Die Full-Custom-Schaltkreise bieten immer noch die beste Möglichkeit, komplexe digitale Komponenten in sehr hohen Stückzahlen preiswert zu realisieren. Typische Beispiele hierfür sind die Mikroprozessoren mit den dazugehörigen Eingabe-Ausgabe-Schaltkreisen.

Zwischen den PAL-/GAL- und den Full-Custom-Schaltkreisen liegen bekanntlich die Semi-Custom-Schaltkreise, die auch ASICs heißen. Zwar lassen sich mit ihnen recht komplexe digitale Schaltungen in kürzester Zeit

aufbauen, doch die Einstiegskosten für einen Entwicklungsplatz erreichen hier leicht 100 000 Mark. Der Einsatz einer solchen Anlage erweist sich nur dann als sinnvoll, wenn einige tausend Schaltkreise abgesetzt werden können.

Bei den Schaltungsentwicklern heißen die GAL- und PAL-Schaltkreise auch die „grauen Eminenzen“, denn jeder verwendet sie, und kaum jemand spricht über die Vorzüge dieser nun fast schon zehn Jahre alten Digitalbausteine. Kurzum: PALs und GALs haben sich in der Digitaltechnik etabliert und ersetzen in vielen Fällen die sonst üblichen Standardschaltkreise in TTL- und CMOS-Technik.

Die Anwendung der programmierbaren Logik begann bereits Anfang der 60er Jahre. Als Resultat erschienen die ersten PROMs auf dem Markt – programmierbare Speicher mit festem Inhalt. Die Adressierung der einzelnen Zellen erfolgt bei ihnen über eine feste AND-Matrix (Decoder) am Eingang, die dann den eigentlichen Speicher (programmierbare OR-Dioden-Matrix) anspricht. Zwar könnte man auch ein herkömmliches PROM dazu „mißbrauchen“, digitale Schal-

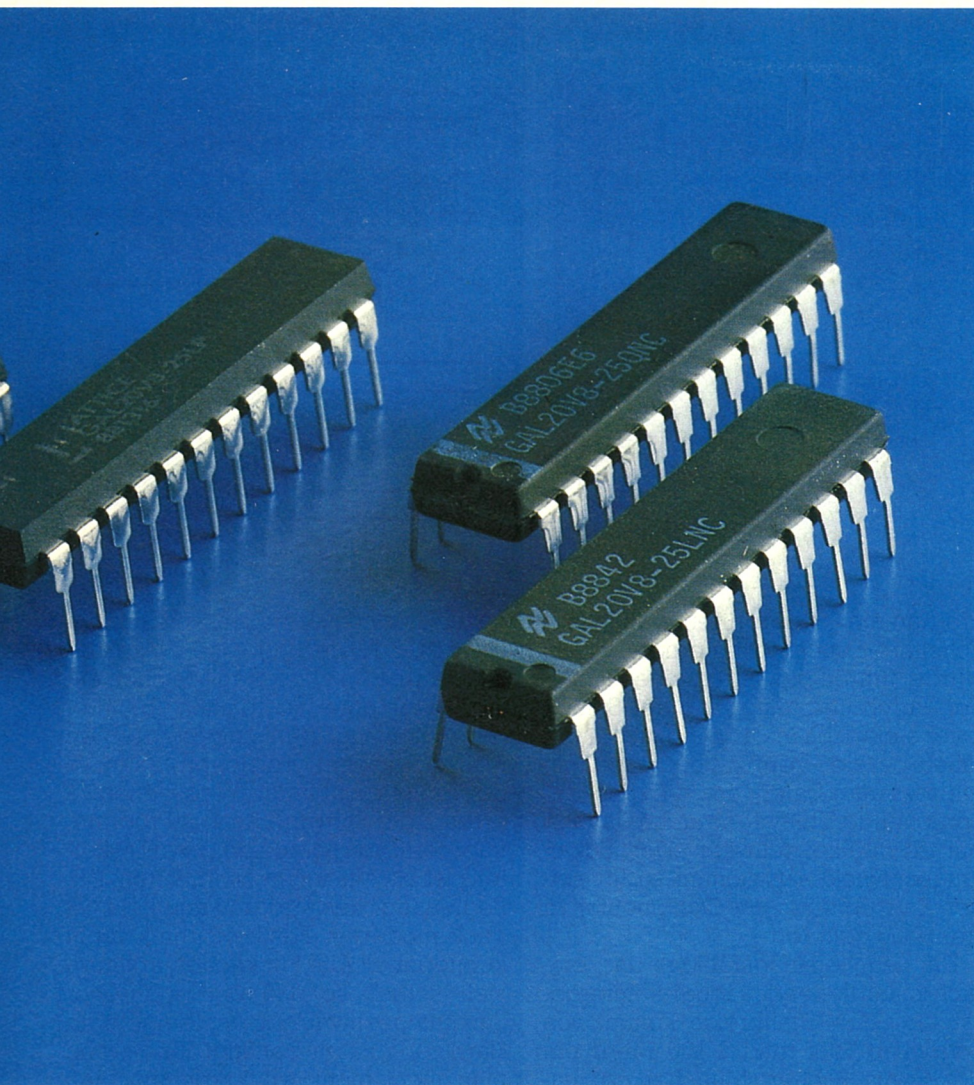


Foto: Spakowski

tungsfunktionen zu übernehmen. Aber von Flexibilität könnte dann nicht mehr die Rede sein: Ein PROM mit Eingangsleitungen hat ja nur „2“ Eingangsvariablen, die sogenannten Produkt-Terme. Jede zusätzliche Eingangsleitung des Schaltkreises hätte dann die Verdoppelung der internen

Dieses Programmiergerät läßt sich mit jedem PC verbinden

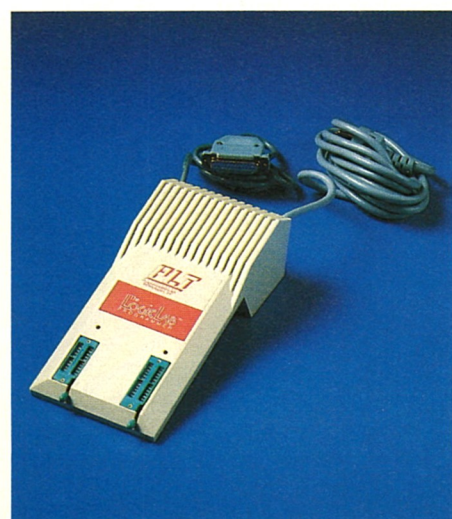


Foto: Spakowski

Dioden-Matrix zur Folge. Diese ungünstige Eigenschaft ist für einen Schaltungsentwurf kaum brauchbar, da die Schaltkreise wegen der geforderten Komplexität viel zu teuer würden.

Die Lösung des Problems schaffen die Designer integrierter Schaltungen, indem sie aus den PROMs die heutigen PAL-Schaltkreise entwickelten. Allerdings waren dazu einige Änderungen nötig: Der Adreßdecoder des PROM wurde einfach durch eine zweite freiprogrammierbare Dioden-Matrix ersetzt, und so wandelte sich das PROM zum PAL. Wegen der programmierbaren Eingangsmatrix lassen sich jetzt beim PAL sehr viele logische Funktionen nachbilden, ohne daß etwa beim Hinzufügen einer Eingangsleitung die interne Dioden-Matrix vergrößert werden muß.

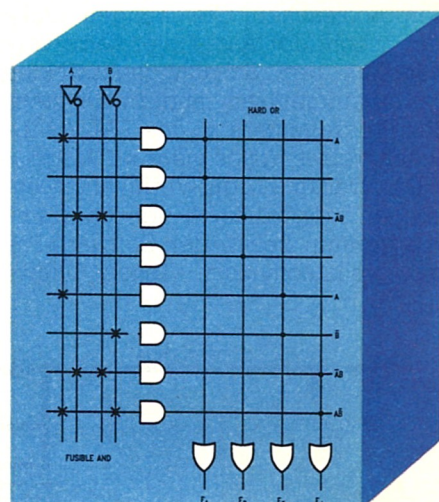
In letzter Zeit gab es auch bei dieser Schaltkreistypen viele technische Neuheiten: Sie wurden Schritt für Schritt komplexer, und die entsprechenden Programmiergeräte nebst Software pendelten sich auf einem vergleichsweise niedrigen Preisniveau ein.

Sobald die gewünschten Schalt-

funktion in einen PAL-Schaltkreis programmiert ist, kann er nicht mehr verändert werden. Wenn beispielsweise ein Entwurfsfehler nicht rechtzeitig entdeckt wird, so hat der digitale Schaltkreis leider nur noch Schrott-wert. Bei den niedrigen PAL-Preisen von einigen Mark bedeutet das aber sicherlich kein unüberwindliches Problem.

Eine Weiterentwicklung stellen die sogenannten GAL-Schaltkreise dar: Sie lassen sich in der Regel weit über hundertmal löschen und anschließend neu programmieren. Das Löschen der gespeicherten Informationen erfolgt über elektrische Impulse; im übrigen bestehen keine elektrischen Unterschiede zwischen den beiden Schaltkreis-Familien.

Im großen und ganzen läuft der Schaltungsentwurf mit den programmierbaren Logik-Schaltkreisen in drei Phasen ab: Logik-Design, Logik-Verwirklichung und Design-/Logik-Verifikation. Beim Logik-Design zeichnet der Schaltungsentwickler zunächst ein Blockschaltbild. Dann überlegt er, mit welchen logischen Funktionen das Blockschaltbild in ein wirkliches Schaltbild übersetzt werden kann. Dazu bedient man sich wie üblich der Booleschen Algebra. Bis dahin hat



Quelle: National Semiconductor

LOGIC EQUATIONS
 $F_1 = A$
 $F_2 = AB$
 $F_3 = A + B$
 $F_4 = AB + AB$

Der Zusammenhang zwischen den Gleichungen und der internen Fuse-Matrix

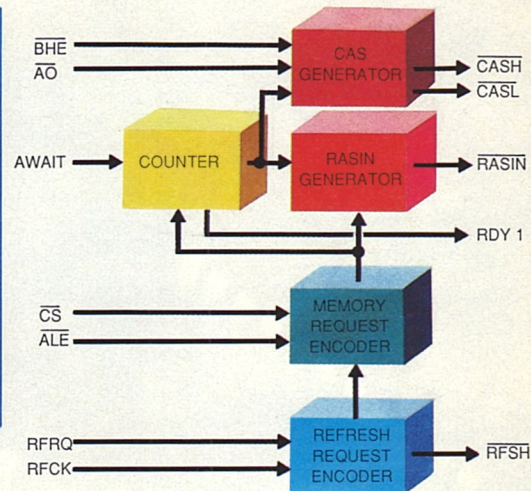
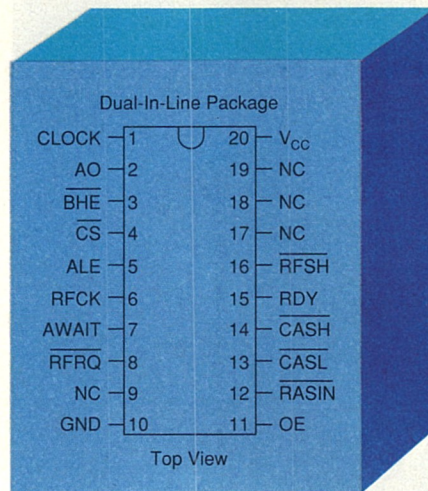
sich also beim Vorgehen, eine Schaltung zu entwerfen, nichts geändert.

Jetzt kommt die Umsetzung des Entwurfs an die Reihe. Der Schaltungsentwickler nimmt ein Datenbuch zur Hand und sucht sich aus der PAL- oder GAL-Familie einen Schaltkreis heraus, mit dem er seine Schaltungs-idee verwirklichen kann. Mit Hilfe eines herkömmlichen Textprogramms werden nun die Booleschen Gleichungen eingegeben und anschließend in

SERIE:

Die wichtigsten Chips

Ein PAL dient als Interface zwischen dem 8086-Prozessor und einem gängigen DRAM-Controller: Pin-Layout und Blockschiung nebeneinander.



einer ASCII-Datei gespeichert. Dann übergibt der Schaltungsentwickler die eingegebenen Gleichungen einem sogenannten PAL-Assembler.

Die Aufgabe dieses Assemblers besteht darin, Boolesche Gleichungen auf die interne Matrix des PAL- oder GAL-Schaltkreises abzubilden. Meist schreibt der Assembler die berechneten Ergebnisse in ein sogenanntes JEDEC-File, das dann direkt alle benötigten Informationen für das PAL-/GAL-Programmiergerät enthält. Falls noch logische Design-Fehler in den Booleschen Gleichungen stecken, macht der Assembler selbstverständlich den Schaltungsentwickler darauf aufmerksam; andernfalls steht der Programmierung des PAL-/GAL-Schaltkreises nichts mehr im Wege.

Die Design-/Logik-Verifikation erledigen meist die mit den Programmiergeräten gelieferten Software-Pakete vollautomatisch. Diese Utility-

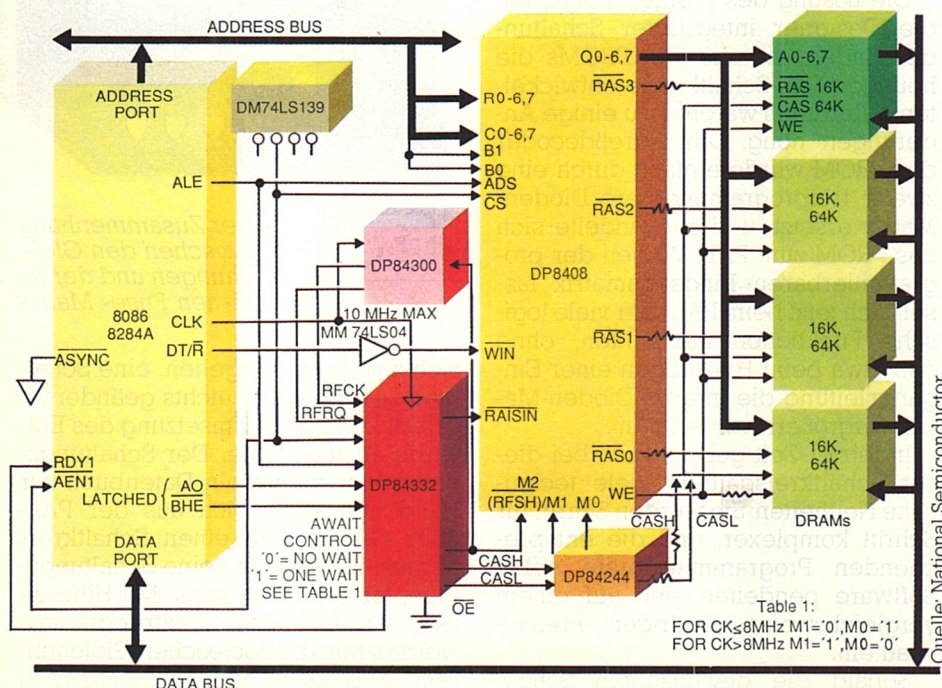
Programme überprüfen, ob der Schaltkreis auch richtig programmiert wurde, führen bei Bedarf eine Simulation durch und testen, ob der Schaltkreis elektrisch in Ordnung ist. Häufig fallen bei der Verifikation noch viele interessante Daten an, die das entsprechende Utility-Programm dann in ein ASCII-File schreibt. Der Schaltungsentwickler bekommt so für seinen Entwurf eine gute Dokumentation frei Haus geliefert.

Ein sehr leistungsfähiges und einfach zu bedienendes Programmiergerät für GAL-Schaltkreise kommt von Logic-Lab (für rund 1 100 Mark bei der Firma Bacher, München, zu haben). Über die serielle Schnittstelle läßt sich das Programmiergerät mit jedem beliebigen IBM-kompatiblen Computer verbinden. Die Datentransferrate auf der RS232-Leitung beträgt 9 600 Baud. Des weiteren sollte der Rechner einen Arbeitsspeicher mit ei-

nem Fassungsvermögen von mindestens 512 KByte und eine Festplatte haben. Im Prinzip eignet sich auch ein Computer ohne Festplatte, aber bei den vielen Zugriffen auf den externen Massenspeicher entstehen dann in der Regel recht lange Wartezeiten.

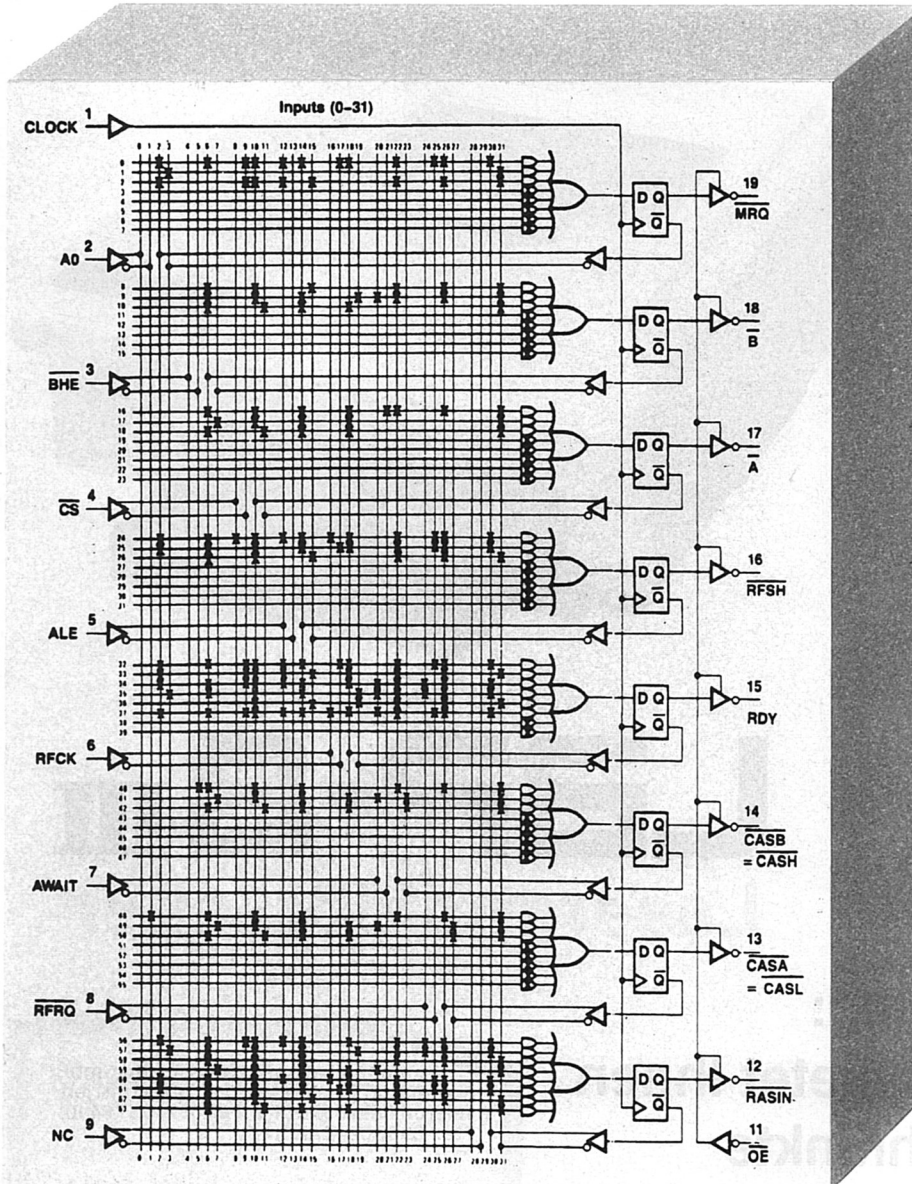
Auch die Software für das Programmiergerät von Logic-Lab (zwei Disketten) ist bereits im Preis enthalten. Die Bedienung des Programmpakets ist dank moderner Fenstertechnik recht komfortabel: Alle Funktionen erklären sich selbst, so daß ein erfahrener Schaltungsentwickler das beigelegte Handbuch kaum benötigt. Und wenn man nicht mehr weiterkommt, dann öffnet der Entwickler einfach ein Hilfe-Fenster mit den entsprechenden Antworten. Selbstverständlich fehlt auch der Editor zur Eingabe der Booleschen Gleichungen nicht.

National Semiconductor, einer der größten Hersteller von PAL- und GAL-



Der PAL-Schaltkreis DP84332 ist einfach zwischen den 8086-Mikroprozessor und den DRAM-Controller sowie den Arbeitsspeicher geschaltet. Etwa zehn Standardschaltkreise ersetzt hier im Schaltbild ein einziges PAL.

So sieht das Innenleben des DP84332-Schaltkreises nach der Programmierung aus. Die „Kreuzchen“ kennzeichnen die programmierten Strecken (Fusible Links) in der Matrix.



```
pal16r8:dram controller interface for 8086/dp8408
ck a0 /bhe /cs ale rfcck wait /rfck nc gnd
/oe /rasin /ca /cb rdy /rfsh /a /b /mrq vcc
/mrq := rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale*/rfck
+ /mrq*/rasin* /rasin* ca* cb* rdy*/rfsh* a* b* mrq*/cs* ale
/b := /rasin* ca* cb*/rfsh* a* b + /rasin* ca* cb*/rdy* rfsh* a* b* wait
+ /rasin* rdy* rfsh*/a* b
/a := /rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b*/wait
+ /rasin* rdy* rfsh* a*/b + /rasin* rdy* rfsh*/a* b
/rfsh := rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale* rfck
+ rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a*/b* mrq*/rfck*/rfck
+ /rasin* ca* cb*/rfsh* a* b
/rdy := /rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale*/rfck
+ /rasin* ca* cb* rdy*/rfsh* a* b* mrq*/cs* ale
+ /rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale* wait
+ /rasin* ca* cb*/rdy* rfsh* a* b*/mrq* rfck* wait
+ /rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale* rfck* wait
/cb := /rasin* ca* cb* rfsh* a* b*/bhe + /rasin*/cb* rdy* rfsh* a*/b* wait
+ /rasin*/cb* rdy* rfsh*/a* b
/ca := /rasin* ca* cb* rfsh* a* b*/bhe + /rasin*/ca* rdy*/rfsh* a* b* wait
+ /rasin*/ca* rdy* rfsh*/a* b
/rasin := rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/cs* ale
+ rasin* ca* cb* rfsh* a* b + /rasin* rdy* rfsh* a*/b* wait
+ rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/ale* rfck
+ rasin* ca* cb* rdy* rfsh* a* b* mrq*/rfck*/rfck
+ /rasin* ca* cb*/rfsh* a* b + /rasin* rdy* rfsh*/a* b
```

Die Gleichungen für das oben abgebildete PAL. Verwendet wurde das Programm „Plan“ von National Semiconductor.

Schaltkreisen, liefert sogar einen recht guten PAL-/GAL-Assembler zum Nulltarif. Dieses Software-Paket mit Namen „Blau“ verfügt zwar nicht über Fenstertechnik, aber man kann sich dennoch sehr einfach mit den programmierbaren Logik-Schaltkreisen vertraut machen. Allerdings lassen sich mit der Software noch keine Schaltkreise programmieren, dazu ist eben noch ein Programmiergerät erforderlich.

Erwähnenswert ist folgende Fähigkeit von Plan: Nach Eingabe der logischen Gleichungen selektiert das Programm automatisch einen Schaltkreis aus der PAL-/GAL-Familie, der sich am besten für die jeweilige Anwendung eignet. Das Resultat nach einem Assembler-Durchlauf ist ein sogenanntes JEDEC-3A-File, das momentan alle gängigen PAL-/GAL-Programmiergeräte „schlucken“.

Großes Lob verdient auch das in Plan enthaltene Hilfsprogramm JED2BEQ: Es übersetzt eine sogenannte Fuse-Map (interne Programmierung des Schaltkreises) in binäre Gleichungen. Dies erweist sich als besonders nützlich, wenn man einen bestimmten Schaltkreis „knacken“, das heißt, seine Funktionen herausfinden möchte.

An einem Beispiel läßt sich zeigen, wie einfach sich Schaltungen mit Hilfe eines PAL-Schaltkreises zu realisieren sind: Die Aufgabe besteht darin, an einen 8088-(8-bit-Bus) oder einen 8086-Mikroprozessor (16-bit-Bus) einen Arbeitsspeicher aus dynamischen RAM anzuschließen. Um möglichst wenig Schaltkreise zu benötigen, soll der DRAM-Controller DP8408 verwendet werden. Leider läßt sich dieser Controller nicht direkt mit dem Mikroprozessor von Intel verbinden.

Das dazu benötigte Interface wird natürlich mit einem PAL (DP84332) realisiert. Wie aus dem Blockschaltbild hervorgeht, liefert der PAL-Schaltkreis alle Steuersignale, um einen Lese-, Schreibe- oder Auffrischzyklus für den dynamischen Arbeitsspeicher einzuleiten. Dazu zählen der RAS-/CAS-Generator, der Speicherzugriffs-Encoder (Memory Request Encoder) sowie die Logik für die Speicherauffrischung (Refresh Request Encoder). Das logische Niveau am AWAIT-Eingang bestimmt, ob beim Speicherzugriff ein Wartezyklus eingebaut wird. Bei Taktraten unter 8 MHz ist nämlich bei der hier vorgestellten Schaltung ein Wartezyklus nicht nötig.

Falls der PAL anders programmiert wird, so läßt sich auf die gleiche Weise ein 68000-Prozessor von Motorola oder gar eine 32032-CPU von National mit dem DRAM verbinden. – na

Quelle: National Semiconductor